

地上デジタル放送用

AW-CDM伝送方式

Adaptive Weighted Code Division Multiplexing (AW-CDM)
Transmission System for Terrestrial Digital Television Broadcasting

伊藤 泰宏

濱住 啓之

宮沢 寛

Yasuhiro Ito

Hiroyuki Hamazumi

Hiroshi Miyazawa

NHK放送技術研究所

NHK Science and Technical Research Laboratories

Cliff effect of digital transmission in its threshold is not favorable for terrestrial broadcasting, which is received under various conditions. AW-CDM transmission system has a soft threshold by dividing the hierarchical information into subchannels, each of which has a different priority and therefore a different threshold. In the present paper, as a hierarchical transmission system which is beneficial for terrestrial digital television broadcasting, AW-CDM system is proposed.

Best Available Copy

1. まえがき

放送サービスには、固定受信に加えて移動受信およびポータブル受信という受信形態¹⁾がある。デジタル伝送には、サービス限界において急激なスレシヨルド特性があるため、どのような電波環境までをサービス対象とするかが問題となる。急激な劣化を防ぐ対策として、情報を重み付けして伝送し、低い受信CN比や多重波の存在など厳しい電波環境下では優先度の低い情報を切り捨てる"Graceful degradation"を行うことが考えられる²⁾³⁾。筆者らは、受信状態に応じて階層情報の選択/切り捨てを可能とする伝送方式として、符号分割多重(CDM)⁴⁾の応用による新しいデジタル伝送方式を提案した。この方式を以下AW(Adaptive Weighted)-CDMと呼ぶことにする。既にハードウェア製作により確認を行っている部分もあるが、ここでは方式の原理とシミュレーションによるその諸特性について考察した結果を報告する。

2. 多重伝送方式の選定

階層的伝送のために用いる多重伝送における各サブチャネルの電力は、それぞれを流れる階層情報の重要度に応じて重み付けされる。図1に多重伝送方式の比較を示す。図1に示すように、多重伝送は $n+1$ 個のサブチャネル上のビットストリーム $s_k(t)$ を直交信号系 $c_k(t)$ で直交変換し、それを多重するシステムと見ることができる。ただし実際の多重伝送においては、フィルタなど他の技術を応用して直交信号系で多重されていない場合もある。直交信号系 $c_k(t)$ は、次のような性質を持つ周期 T の周期関数である。

$$\int_0^T c_j(t) c_k(t) dt = E \delta_{jk} \quad (1)$$

ただし E は $c_k(t)$ の1周期のエネルギーであり、

$$\delta_{jk} = \begin{cases} 1 & (j=k) \\ 0 & (j \neq k) \end{cases} \quad (2)$$

である。図1に示すように、各サブチャネルの

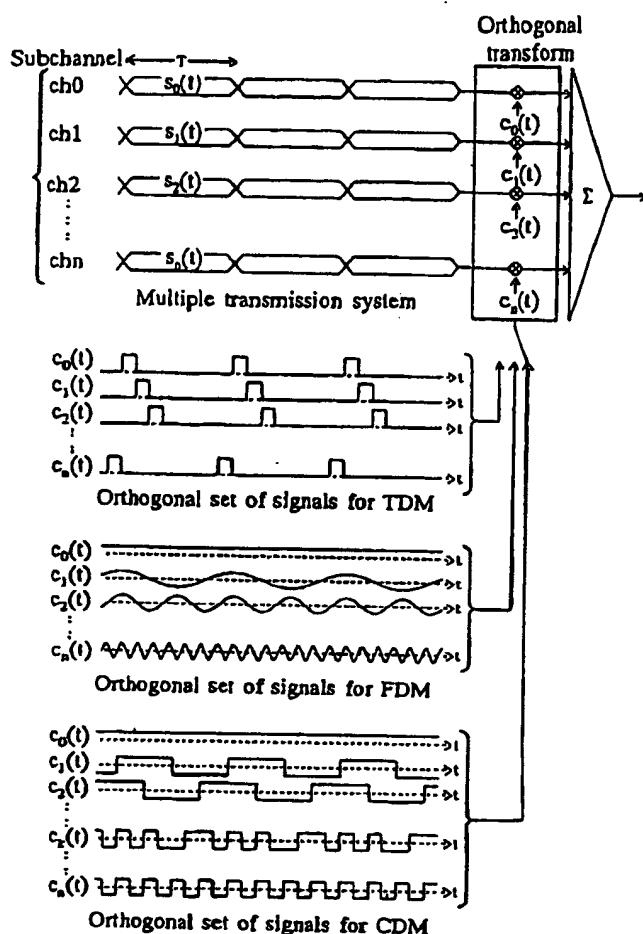


Fig. 1 Comparison of multiple transmission

ビットストリーム $s_i(t)$ を搬送する直交信号系 $c_i(t)$ の違いにより、直交変換後にそれぞれ時分割多重 (TDM)、周波数分割多重 (FDM) および CDM となる。階層的伝送を行うためには、階層情報が割り当てられた各サブチャネルの電力を階層情報の重要度に応じて重み付けすればよい。図 2 に 64 サブチャネル多重伝送において 3 段階に階層化した場合の電力重み付けの例を示す。TDM では各時間スロット毎、FDM では各周波数スロット毎、CDM では各符号毎に重み付けされる。TDM および FDM による多重伝送では重み付けが特定の時間または周波数スロットに限られるため、時間または周波数ホッピングなどの措置を行わない限りにおいて時間波形またはスペクトルが不均一となり、混信の面で不利である。これに対し、CDM による多重伝送では、各サブチャネルのビットストリームが時間スロットにも周波数スロットにも制

限されることなく多重されるため、重み付けにより時間波形やスペクトルが均一となる。ただし、FDM はマルチパス環境においてサブチャネル内干渉のみでサブチャネル間干渉はないが、CDM は TDM と同様、サブチャネル間干渉があるためマルチパス補償が必要となる。しかし、CDM におけるマルチパス補償は高精度のものが比較的容易に実現可能である。さらに、CDM においては、重み付け量をサービスエリアに合わせて変えても受信機は全て同一で済むこと、複数局から送信電力すなわち重み付けを変えて同時に送出可能なこと、CDM は実際には直流成分をスクランブルするために PN 符号で拡散するが、この PN 符号を周ごとに換えることで同一 ch 混信が大幅に軽減できることなどの特長がある。これらのことから、放送の階層化伝送には CDM が適している。

3. AW-CDM 方式の概要

CDM 変調に用いる直交信号系 $c_i(t)$ には種々あるが、ハードウェア化が容易な Hadamard 変換 (以下 H 変換) を使うことができることから、ここでは 2 値直交符号である Walsh 関数 (以下 W 関数) を用いる。(各サブチャネルの情報を W 関数で直交変換することで CDM 信号が得られるが、この過程は H 変換に他ならない。) 各サブチャネルの情報は、H 逆変換により復調される。ちなみに、H 逆変換は H 変換に等しい。AW-CDM 方式の変調においては、階層情報

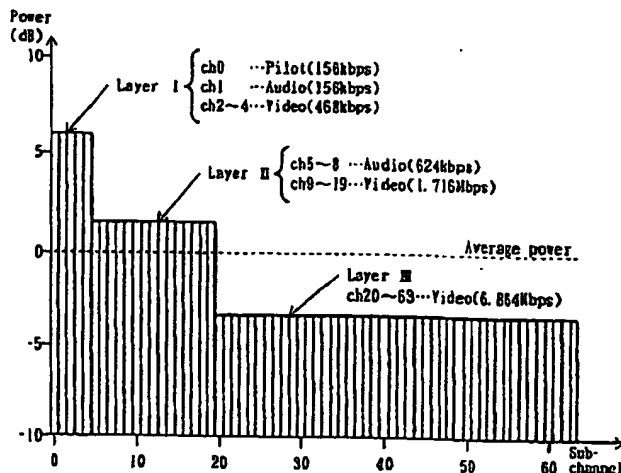


Fig. 2 Example of hierarchization (3 layers)

を2°のサブチャンネルに振り分け、情報の重要度に応じて各サブチャンネルのビットストリームの電力を重み付けして2°次でH変換することによりCDM信号を得る。受信側ではH逆変換で復調された各サブチャンネルの誤り率を常時検出し、受信状態に応じて復元可能かどうかを判定して復元不可能と判定された階層情報があればそれを切り捨てる。

4. AW-CDM方式の具体例

以下、現行地上テレビ放送の帯域と同一の帯域幅として伝送帯域幅6MHz、ロールオフ率を15%として全伝送レート10Mbps、サブチャンネル数2°×2系統(1ch, Qch)として説明する。図3に実際のCDM波の変調スペクトルを示す。なお、サブチャンネルのch番号は、それを搬送するW関数の波数(sequence)に対応しているものとする。

図4にAW-CDM方式の変調系統例を示す。映像/音声信号の符号化においては、表1のように映像は3段階、音声は2段階に分けた階層符号とした。階層符号は、直/並列変換したあと図2のように重み付けを行う。これらをI、

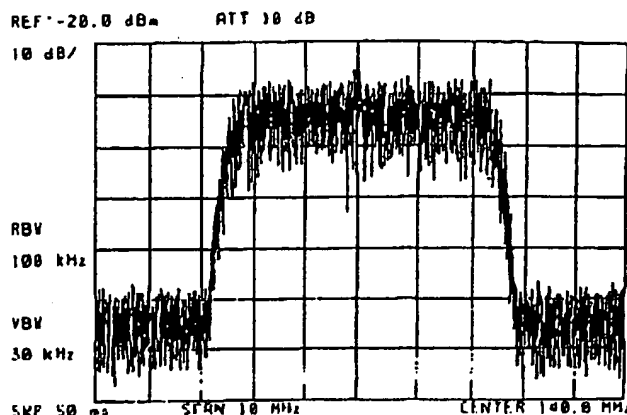


Fig. 3 Spectrum of AW-CDM modulated wave

Table 1 Example of hierarchical service

Terrestrial broadcasting service(10Mbps)		
Reception	Video(9Mbps)	Audio(1Mbps)
Stationary reception	6.8Mbps	624kbps
Mobile / Portable	1.7Mbps	156kbps
	468kbps	156kbps

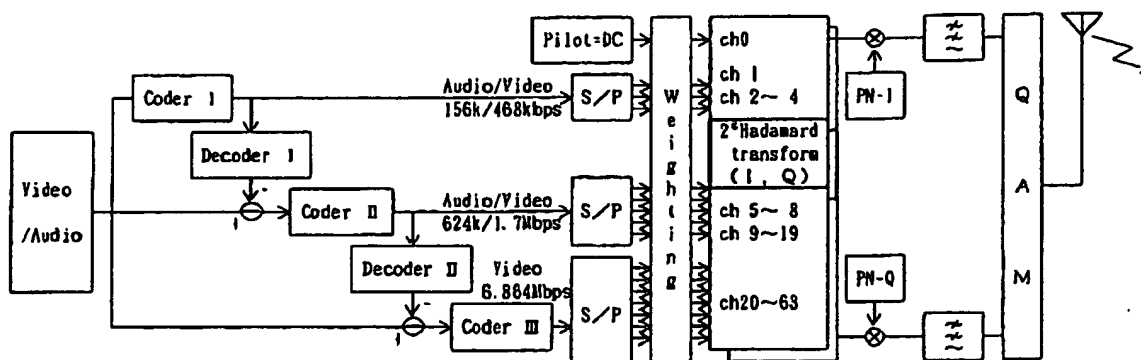


Fig. 4 Example of hierarchical coding and AW-CDM modulation scheme

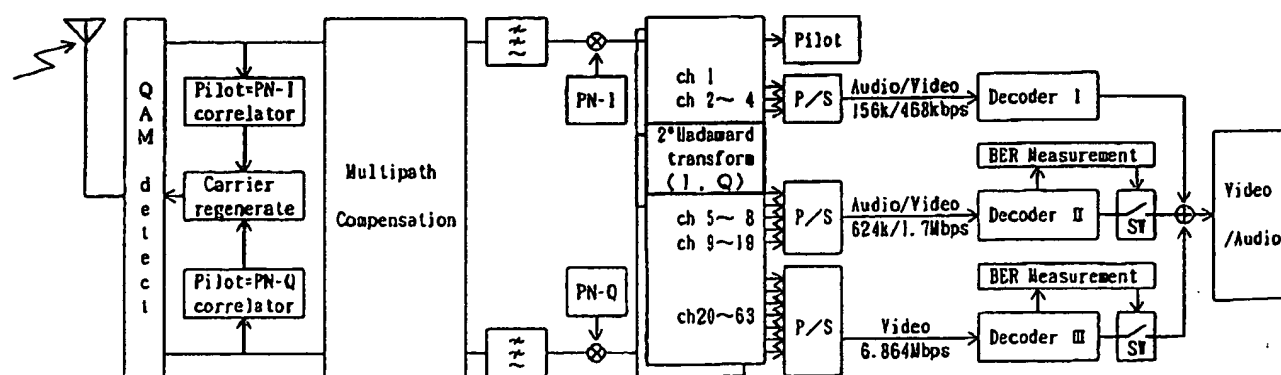


Fig. 5 Example of hierarchical decoding and AW-CDM demodulation scheme

Qの各2nd次H変換の各サブチャネル(ch1~63)に割り当てる。また、復調時のキャリア再生のためにパイロット信号(直流)も重み付けしてch0に割り当てる。H変換出力にはパイロット信号の直流成分が含まれるため、H変換出力と同じチップレート(5Mchip/s)のPN符号(2¹⁶-1チップ)により直流成分をスクランブルする。1. Qには半周期位相の異なるPN符号を用いる。拡散後、ロールオフフィルタで波形形成してQAM(直交振幅変調)する。変調波には、半周期位相の異なるPN符号成分が重畳されていることになる。

図5にAW-CDM方式の復調系統例を示す。復調部では、まず変調波のI、Q信号に多重された位相の異なるPN符号成分を相関受信することによりキャリア再生を行う。この再生キャリアを用いてQAM同期検波を行う。検波後、後述するマルチパス補償を行い、ロールオフPN符号デスクランブルし、H逆変換を行う。逆変換後、図2のような3段階の階層に分かれた64サブチャネルの復調信号が得られる。それぞれの階層について並/直列変換し、それぞれの階層を映像/音声信号に復号し、階層II、IIIについてはビット誤り率も同時に測定する。階層II、IIIの映像/音声信号については誤り率が規定の値以上であれば、ベースとなる階層Iの映像/音声信号に順次加えて品質の高い信号とする。受信状態に応じて、階層III、IIを順次切り

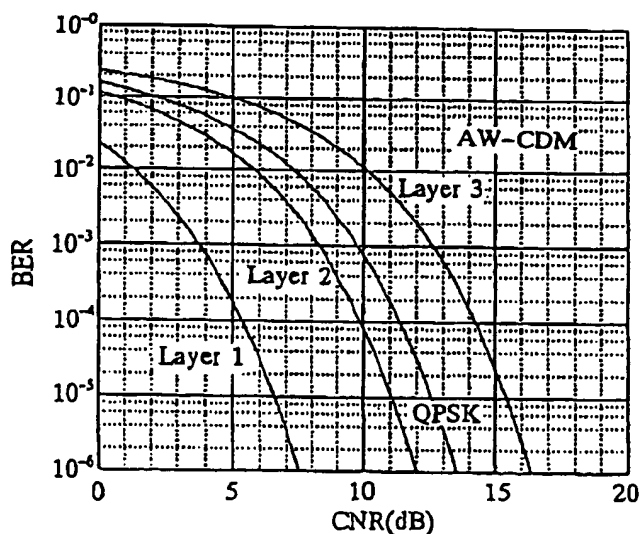


Fig. 6 BER Performance of AW-CDM

捨てていくことにより、急激な品質低下を防ぐことができる。

5. AW-CDM方式の特性

図6にガウス雑音下での受信C/N比に対するAW-CDMの誤り率特性を示す。ただし、ここでは図2に示すような3段階の重み付けを行った。階層I、IIではほぼ重み付けをした分だけQPSKより誤り率特性が改善され、そのかわり階層IIIが重み付けの軽い分だけ特性が劣化している。図6の結果を元に、データの復元が可能($BER < 10^{-3}$)な受信C/N比の限界をAW-CDMとQPSKとで比較すると図7のようになる。ちなみに、QPSKのカーブは、重み付けしないAW-CDM、すなわちCDMの特性と同一である。QPSKでは $C/N = 9.8\text{dB}$ がサービス限界であるのに対し、AW-CDMではQPSKとほぼ同じレートの階層IIIまでのサービス限界が $C/N = 12.6\text{dB}$ と3dB程劣るものの、階層IIまでのサービス限界は $C/N = 8.2\text{dB}$ 、階層Iのサービス限界は $C/N = 3.8\text{dB}$ とQPSKよりかなり改善される。実際のシステムに適用するためには、階層IIやIに移行する時間率、それぞれの階層に最適な重み付けや伝送容量などを詳細に検討する必要がある。

CDM伝送ではマルチパスによりサブチャネル間干渉が生じ、誤り率が低下する。図8に単一ゴースト($D/U = 6\text{dB}$)が存在する場合の受信C/N比に対するAW-CDMの誤り率特性を

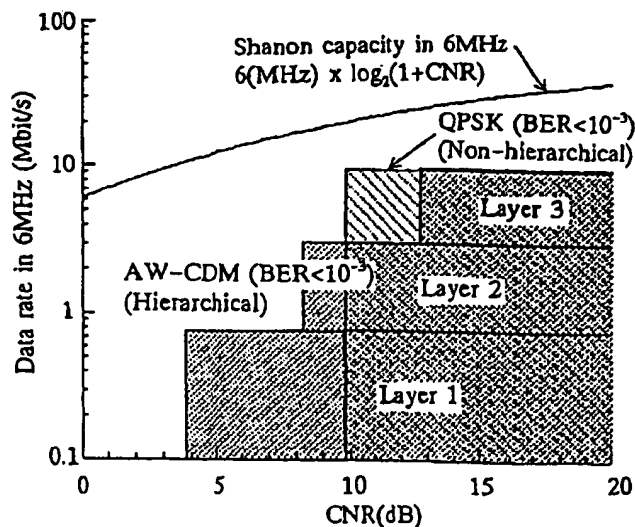


Fig. 7 Comparison of recoverable limit

示す。QPSKのカーブは、重み付けしない場合のCDMと同一である。ゴーストがない場合の図6と図8をデータ復元限界($BER=10^{-3}$)で比較すると、階層Ⅲ、ⅡではC/N比がどんなに良くなっても次項のマルチパス補償がないと復元不可能なのに対し、階層ⅠではC/N比が4dB良くなれば復元可能となり、階層化がゴーストに対しても有効であることがわかる。

6. マルチパス補償方式

アンテナ設備が現行テレビ程度(評価3以上)の固定受信であれば、階層Ⅲの受信はマルチパス補償なしでも可能と推測できる。主に固定受信向けの階層Ⅲも、マルチパス補償を行うことにより特性が大幅に改善でき、補償が高速にできれば移動受信もある程度可能となる。従来よりマルチパス妨害の補償には、トランスバーサル型等化器による波形等化が一般的であるが、掃選ループを持つため移動受信に対して追従速度が遅いことや等化後の信号のS/N比が劣化する等の問題があった。そこで、ここでは受信信号をいったん復調し判定を行った後で再変調した信号から疑似マルチパスを生成し、これを受信信号から減算するフィードフォワード型マルチパス補償方法を用いることによりこれらの問題点を解決した。フィードフォワード型は、アナログ方式においては精度が悪く使われることがなかったが、デジタル方式において量子化レベルより小さい程度の精度を実現するには

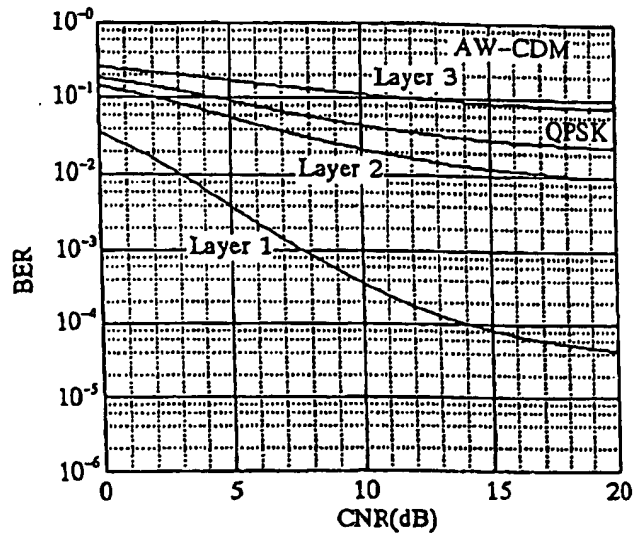


Fig. 8 BER performance of AW-CDM (Ghost DUR=6dB, Delay=1 μ s)

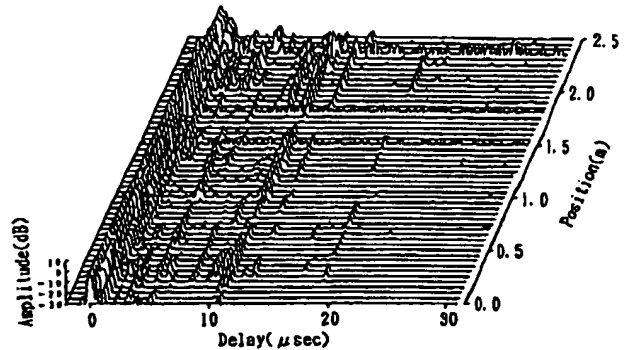


Fig. 9 Example of delay characteristics of indoor penetrating wave

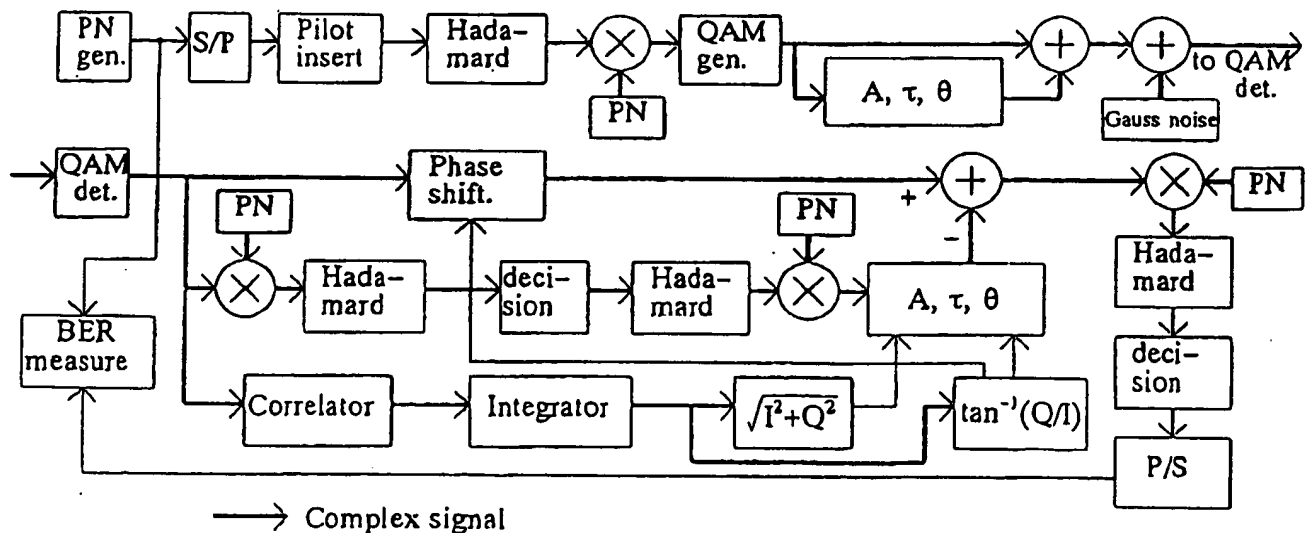


Fig. 10 Simulation scheme of multipath compensation

十分である。加えて、ディジタル方式であるゆえ、フルタップのフィルタは不必要であり、ハードウェアの規模が少なく、実現性が高い。

階層的伝送により移動受信やポータブル受信を可能とするには、屋外はもとよりトンネル内や室内などの閉塞的領域に侵入する放送波の多重路伝搬特性がハードウェア規模を左右する。図9に伝搬条件としては極めて厳しい屋内への放送侵入波(UHF 16ch)の遅延プロファイルの測定例を示す。直接波が受信できず、レベルの低い反射波のうち最もレベルの高いものを希望波とするため、他の反射波の影響を受け易く、 $D/U \leq 30\text{dB}$ では、マルチパスの遅延は $30\mu\text{s}$ 近くまで及ぶ。従って、遮蔽が大きく極めて受信レベルの低い場所でも受信を可能とするためにはマルチパス補償が $50\mu\text{s}$ 以上可能であることが望ましい。

CDM用マルチパス補償方式のシミュレーション系統を図10に示す。マルチパスをキャンセルするための疑似マルチパスの生成は、図4に示すように送信側でI、Q両chに多重された半周期位相の異なるPN符号成分を用いて、同じPN符号で相関受信することによりマルチパスの振幅(A)、遅延時間(τ)および位相(θ)の値を測定して行う。測定可能な遅延時間はPN符号の周期に依存する。PN符号のチップレートは 5Mchip/s であるから、 $100\mu\text{s}$ の遅延を測定

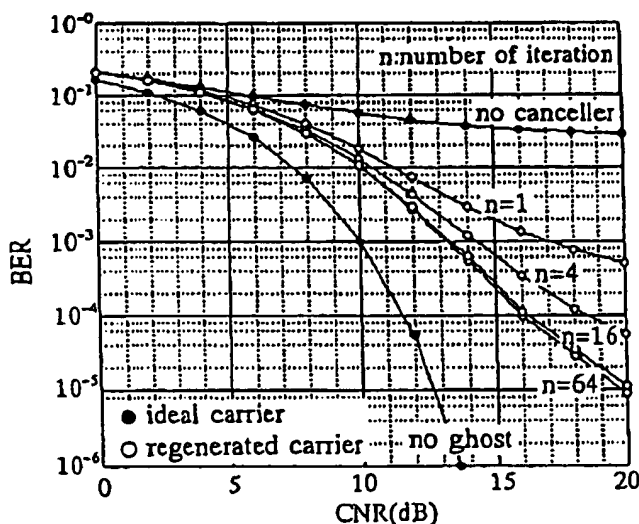


Fig. 11 Multipath compensated BER performance (Ghost DUR=6dB, Delay=1 μs)

可能とするために、PN符号は $2^{10}-1$ チップ(半周期で $102.3\mu\text{s}$)とした。結果を図11に示す。ただしここでは図2のような重み付けはパイロットだけについて行い、他は一様とした。計算では、マルチパス環境としてガウス雑音に単一パス($D/U=6\text{dB}$ のゴースト)を加えた。ただし、クロック及びH変換のタイミングは理想的なものとし、直交同期検波のキャリアの位相は、受信側で再生したものを用いた。補償可能速度は、PN符号の周期と相関器の後段で用いる巡回積分器の積分回数 n との積で決まる。 n が大きいほどゴーストおよびキャリアの測定精度を向上できる反面、ゴーストの変動速度に追従できなくなる。しかし、図11に示すように $n=16$ 以上で誤り率特性の改善は飽和するため、積分時間を約 3ms 以下とでき、自動車などの移動受信でも十分追従して改善が可能である。

7. おわりに

階層的伝送を可能にする方式としてAW-CDM方式およびそのマルチパス補償方式を提案し、その理論的性能を明らかにした。本方式は、移動受信の他、サービス品質を限定した液晶表示の小型受信機による低廉なポータブル受信を可能とする。さらにまた、本技術は衛星放送における降雨減衰対策にも極めて有効であると考えられる。また、サブチャネルの一部を多値化することにより、 6MHz 帯域幅で 10Mbps 以上のサービスを行うことも可能である。

今後は、フェージング環境下での特性および階層的伝送に対する動画像の評価について検討するとともにハードウェアによるシミュレーションを進める。

文献

- 1) 王丸: テレビ誌, 43, 2, pp. 152-159 (1989. 2)
- 2) N. K. Lodge, et al: EBU Technical Review, pp. 34-39 (Autumn 1992)
- 3) W. F. Schreiber: SMPTE J, pp. 538-549 (1992. 8)
- 4) A. Salmasi and K. S. Gilhousen: Proc. 41st IEEE Vehicular Technology Conf. (1991. 5)
- 5) R. Kohno: IEEE JSAC, 4, pp. 675-682 (1990. 5)

NHK放送技術研究所 無線研究部

〒157 世田谷区砧 1-10-11 (03)5494-2288

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.